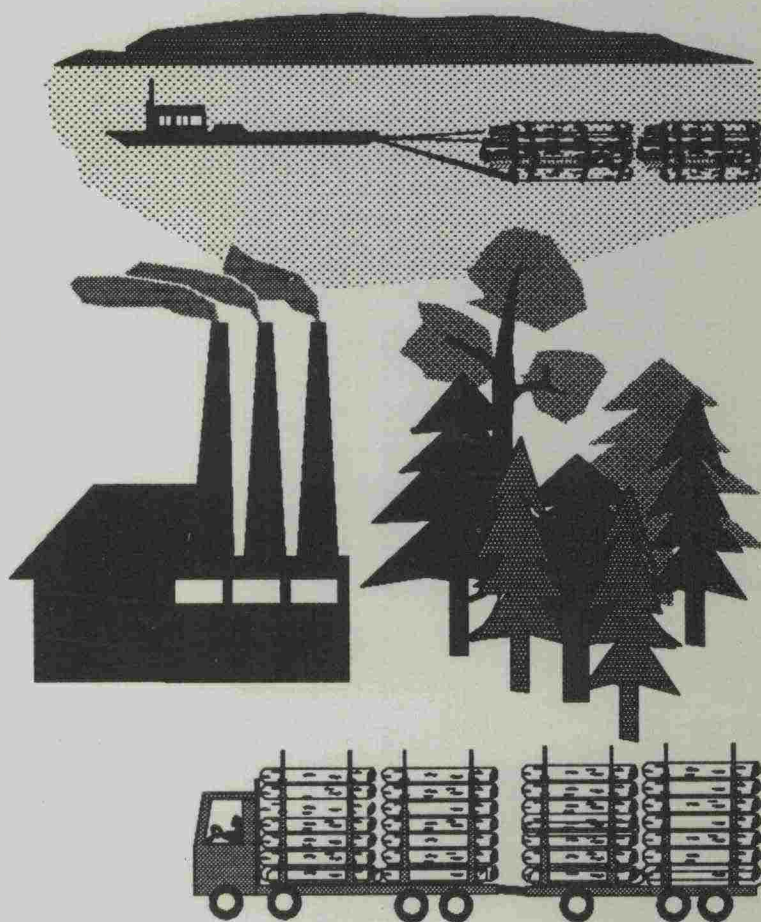




**Tielaitos**

## **Raakapuun kuljetusmalli**



**Tielaitoksen  
selvityksiä**

**51/1991**

Helsinki 1991

**Tiehallitus  
Tutkimuskeskus**

Tielaitoksen selvityksiä  
51/1991

## **Raakapuun kuljetusmalli**

**Tielaitos**  
Tiehallitus, tutkimuskeskus

Helsinki 1991

ISBN 951-47-5513-8  
ISSN 0788-3722  
TIEL 3200046  
Valtion painatuskeskus  
Pasilan VALTIMO  
Helsinki 1991

Julkaisua myy  
Tiehallitus, painotuotevarasto

**Tielaitos**

Tiehallitus  
Opastinsilta 12 A  
PL 33  
00521 HELSINKI  
Puh. vaihde (90) 1541

## Tiivistelmä

Raakapuun kuljetukset muodostavat merkittävimmän osan alemman tieverkon kuljetussuoritteista. Puutavaravirtojen ennustaminen onkin ensiarvoisen tärkeää arvioitaessa alemman tieverkon investointitarpeita. Menetelmät raakapuun tavaravirtojen ennustamiseksi ovat kuitenkin puutteelliset.

Laadittu kuljetusmalli laskee puutavaravirrat kuljetusmuodoittain ja sijoittelee tiekuljetukset yleisille teille. Myös muiden kuljetusverkkojen kuormittuminen voidaan laskea. Lähtötietoina malli käyttää satelliittikartoitukseen perustuvia hakkuumahdollisuustietoja, puun kysyntätietoja, kuljetusverkkojen kuvauksia ja kuljetusmuotojen kustannusfunktioita. Kuljetukset sijoitellaan verkoille kuljetuskustannusten perusteella. Tulosten luotettavuus paranee, mikäli yleisten teiden ohella myös yksityiset tiet (mm. metsäautotiet) on kuvattu.

Järjestelmällä voidaan arvioida huonojen kuljetusyhteyksien poistamisen vaikutuksia kuljetuspotentiaalien purkautumiseen. Sillä voidaan arvioida myös uusien puutavaran kysyntäpisteiden perustamisen, olemassa olevien lakkauttamisen ja kysyntävaihteluiden aiheuttamia muutoksia tavaravirroissa, kuljetuskustannuksissa ja kuljetusverkkojen kuormituksissa. Raakapuun kuljetusmahdollisuuksiaparantavien kuljetusväylä- ja terminaalihankkeiden kannattavuudet ovat siten nopeasti, edullisesti ja luotettavasti laskettavissa.

Suurimmat yhteiskuntataloudelliset säästöt saavutetaan teollisuuden kuljetuskustannusten pienentyessä. Potentiaaliset mahdollisuudet ovat suuret, sillä metsäteollisuuden raakapuun kuljetuskustannukset ovat 1,6 mrd markkaa vuodessa. Kuljetuskustannussäästöillä olisi myös monia kansantaloudellisia kerrannaisvaikutuksia. Kustannusten alentuminen parantaisi metsäteollisuuden kilpailukykyä ja lisäisi vientituotteiden kysyntää.

Metsäyhtiöt voisivat hyödyntää järjestelmää myös suoraan yritystoiminnassaan. Käyttökohteita ovat tehtaan sijaintipaikan optimointi sekä puun hankinnan ja kuljetusten suunnittelu. Numeerisen tieverkkokuvauksen ansiosta puupinot voidaan sijoittaa kartalle, jolloin voidaan suunnitella kuljetusreitit ja paikantaa pinot maastossa. Paikantamisen edellytyksenä kuitenkin on, että järjestelmässä on kuvattu myös yksityistiet.

Tuotettavien tieverkkokuormitusten suurimpana epävarmuustekijänä on kuinka hyvin puun alueelliset hakkuut toteutuvat hakkuumahdollisuuksiin nähden. Ongelma koskee erityisesti Etelä-Suomea, jossa metsiin jää nykyisin hakkuusäästöjä.

Ohjelmiston käyttötavaksi voidaan valita joko keskitetty käyttö tiehallituksessa tai käyttö voidaan hajauttaa tiepiireihin. Tiehallituksessa ohjelmisto voidaan toteuttaa keskuskoneelle. Hajautetussa käytössä järjestelmä toteutettaisiin mikrotietokonepohjaisena, jolloin sijoitteluohjelmiston dimensiot valitaan laitteiston mukaan.



## Alkusanat

Tieinvestointien taloudellinen kannattavuus on hankkeesta hyötyvän liikenteen määrästä riippuvainen. Tieinvestoinnit ovat pitkäikäisiä, minkä vuoksi myös liikennemäärät on ennustettava pitkälle tulevaisuuteen. Alemman tieverkon liikenteestä raakapuun kuljetukset muodostavat taloudellisesti katsottuna merkittävimmän osan. Menetelmät näiden kuljetusten ennustamiseksi ovat kuitenkin varsin puutteelliset.

Arvioitaessa raakapuun kuljetuspotentiaaleja tieverkolla tarvitaan tietoja raakapuun kysynnästä, tarjonnasta ja kriteereistä, joilla kuljetukset sijoittuvat eri kuljetusverkoille. Raakapuun kuljetuksissa käytettävät tärkeimmät kuljetusmuodot ovat suora tiekuljetus, rautatiekuljetus ja uitto. Alemman tieverkon kuormittumisen kannalta myös rautatiekuljetus ja uitto ovat tärkeitä, sillä niissä on kysymys melkein aina kuljetusketjusta, jossa liityntäkuljetus metsä-autotien varresta puutavaran siirtokuormaustapaikalle suoritetaan kuorma-autoilla.

Esiselvityksen tavoitteena on ollut laatia yleissuunnitelma kuljetusmallista, jonka avulla voidaan tuottaa alemman tieverkon verkko- ja hanketarkaste-luissa tarvittavat puutavarakuljetusten ennusteet ja arvioida tällaisella mallilla saavutettavia hyötyjä. Esiselvityksen perusteella tehdään johtopäätökset mallin kannattavuudesta ja päätös työn mahdollisesta jatkamisesta.

Selvitys on tehty tiehallituksen tutkimuskeskuksen toimeksiantona Viatek Tapiola Oy:ssä. Työ aloitettiin toukokuussa 1991.

Tiehallituksessa työn vastuuhenkilönä on toiminut tieinsinööri *Matti Pietilä*. Viatek Tapiola Oy:ssä työhön ovat osallistuneet diplomi-insinööri *Pekka Ilikkanen* (projektipäällikkö 20.8.1991 asti, jonka jälkeen osallistunut työhön tiehallituksen edustajana), diplomi-insinööri *Heikki Kanner* (projektipäällikkö 21.8. alkaen) ja diplomi-insinööri *Ari Sirkiä*.

Helsingissä lokakuussa 1991

*Tutkimuskeskus*

Sisältö

Tiivistelmä

Alkusanat

1	JOHDANTO	9
1.1	Tienpidon ongelmat alemman tieverkon osalta	9
1.2	Raakapuun kuljetusmallit ja optimointijärjestelmät	9
1.3	Työn tavoitteet	9
2	PUUN HANKINTA JA PUUN KAUKOKULJETUKSET	10
2.1	Raakapuun hankinnan suunnittelu	10
2.2	Tehtaiden kuljetusalueet	10
2.3	Hakkuumahdollisuudet	11
2.4	Kuljetusten kausivaihtelut	11
2.5	Kuljetusjärjestelmät	12
2.5.1	Yleistä	12
2.5.2	Suora tiekuljetus	13
2.5.3	Rautatiekuljetus	13
2.5.4	Uitto	14
3	JÄRJESTELMÄN TIETOTARVE JA TIETOJEN SAATAVUUS	15
3.1	Yleistä	15
3.2	Puun kysyntä	15
3.3	Puun tarjonta	16
3.4	Kuljetusverkot	17
3.5	Puutavaran hankinta- ja kuljetuskustannukset	18
4	KULJETUSMALLI	19
4.1	Mallin rakenne	19
4.1.1	Yleistä	19
4.1.2	Tavaravirrat	19
4.1.3	Sijoittelu	21
4.2	Tulokset	22
4.2.1	Kuljetusverkon kuormitukset	22
4.2.2	Muut tulokset	23
5	TOTEUTUS	24
5.1	Käyttökohteet	24
5.2	Hyödyt	24
5.3	Epävarmuustekijät	25
5.4	Atk-järjestelmä	25
6	LÄHDELUETTELO	26

## Kuvaluettelo

Kuva 1.	Kuljetusmallin lähtötiedot, toiminnot ja tulokset	19
Kuva 2.	Kuljetuskustannusjakauksen käyttö kysyntäpisteeseen kiinnitettävän tarjonnan määrittämisessä	20
Kuva 3.	Tavaravirtojen syöttöpisteiden määrittäminen (puupinojen kokoaminen sijoitteluverkon solmupisteisiin), kun tavaravirtojen laskentaverkko sisältää vain yleiset tiet (ja mahdollisesti näitä yhdistäviä yksityisiä teitä)	21
Kuva 4.	Tavaravirtojen syöttöpisteiden määrittäminen (puupinojen kokoaminen sijoitteluverkon solmupisteisiin), kun tavaravirtojen laskentaverkko sisältää yleiset ja yksityiset tiet	22
Kuva 5.	Sijoitteluohjelmiston tuottama tieverkon kuormituskuva	23



## 1 JOHDANTO

### 1.1 Tienpidon ongelmat alemman tieverkon osalta

Raakapuukuljetukset muodostavat suurimman osan alemman tieverkon kuormituksista. Raakapuun kaukokuljetus metsäautotien varresta alkaa melkein aina kuorma-autolla. Raskaat puutavarakuljetukset edellyttävät teiltä ja silloilta hyvää kantavuutta. Kuljetuksen suorittamisen esteenä saattaa olla myös tien huonot geometriset ominaisuudet sekä korkeusrajoitukset. Tien puutteelliset ominaisuudet aiheuttavat lisäkustannuksia vajaitten kuormien tai kiertotien käytön muodossa.

Metsäteollisuuden Keskusliiton tekemässä selvityksessä yleisiltä teiltä löydettiin lukuisia raakapuun kuljetuksia haittaavia paikkoja. Kuljetukset on jouduttu useimmiten ohjaamaan ohi tällaisten paikkojen pidemmille reitille. Tiepiirien mukaan selvityksessä löydetty puutteellisuudet ovat todellisia. Parannustoimenpiteisiin ei kuitenkaan ole ryhdytty, koska kyseisillä tieosuuksilla havaitut liikennemäärät ovat olleet vähäisiä eikä potentiaalisista kuljetusmääristä ole ollut tietoja.

Puutavaravirtojen ennustaminen on hankalaa, sillä puutavaran hakkuut siirtyvät jatkuvasti alueelta toiselle. Tieverkon tulevia kuormituksia arvioitaessa on otettava myös kuljetusmuotojen kilpailutekijöissä, raakapuuta käyttävien tehtaiden sijainnissa ja puun käyttömäärissä tapahtuvat muutokset huomioon.

Mikäli potentiaaliset puutavaravirrat olisivat hyvissä ajoin tiedossa, voitaisiin alemman tieverkon investoinnit kohdistaa paremmin toisin sanoen saavuttaa käytettävissä olevilla resursseilla mahdollisimman suuret kuljetus- ja yhteiskuntataloudelliset säästöt.

### 1.2 Raakapuun kuljetusmallit ja optimointijärjestelmät

Käytettävät puukuljetusten optimointijärjestelmät ovat lähinnä kuljetusten antajien työkaluja, joita käytetään hankinta-alueiden sekä edullisimman kuljetusjärjestelmän (kuljetusketjun) ja kuljetusreitin optimointiin, kun lähtötietoina on annettu puun kysyntä käyttöpaikoittain ja puun hankinta-alueet.

Monessa maassa on kehitetty myös malleja metsäalueiden tieverkon suunnitteluun. Niiden avulla pyritään kehittämään tieverkkoa siten, että tienpitäjän ja tienkäyttäjän (kuljetusten suorittajien) yhteenlasketut kustannukset tulevat mahdollisimman pieniksi. Tällaiset mallit eivät kuitenkaan ota huomioon raakapuun hankinta-alueiden muutoksia eivätkä puun muuttuvaa kysyntää, vaan mallit perustuvat tietyn tutkimusajankohdan kuljetusvirtatietoihin.

### 1.3 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on kehittää ensisijaisesti tielaitoksen tarpeita varten järjestelmä, joka tuottaa tulevaisuuden potentiaaliset puutavaravirrat kuljetusmuodoittain ja sijoittelee tavaravirrat kuljetusverkoille.

Kuljetusverkkojen kuormitusten avulla liikenneviranomaiset voisivat arvioida uusien kuljetusyhteyksien rakentamisella ja olemassa olevien parantamisella saavutettavia kuljetuskustannussäästöjä ja investointien kannattavuuksia. Järjestelmän ensisijainen käyttökohde olisi alemman tieverkon parantamisen



ja kehittämisen suunnittelu. Työssä arvioidaan myös metsäteollisuuden mahdollisuuksia hyödyntää järjestelmää puun hankinnassa ja kuljetusten suunnittelussa.

Tavaravirtoihin ja kuljetusverkon kuormituksiin vaikuttavina muuttujina järjestelmässä tulisi ottaa huomioon ainakin puun kysyntä ja tarjonta, kuljetusverkkojen ominaisuudet ja kuljetuskustannukset kuljetusmuodoittain.

Järjestelmän kehittäminen on osa tielaitoksessa kehitteillä olevaa valtakunnallista liikenne-ennustejärjestelmää. Järjestelmän toteutumisen edellytys on, että mallinnetut raakapuun kuljetusvirrat on yhdessä muiden tärkeimpien tavararyhmien kanssa liitettävissä mallinnettujen henkilöliikennevirtojen kanssa.

## 2 PUUN HANKINTA JA PUUN KAUKOKULJETUKSET

### 2.1 Raakapuun hankinnan suunnittelu

Vuonna 1990 Suomessa hakattiin puuta noin 50 milj. m<sup>3</sup>. Tästä noin 43 milj. m<sup>3</sup> meni teolliseen käyttöön. Raakapuun kaukokuljetussuorite oli 5 640 milj. m<sup>3</sup> km ja kaukokuljetusten kustannukset 1 600 milj. mk /2/.

Metsäyhtiöt hankkivat tarvitsemansa puuraaka-aineen joko omien hankintaorganisaatioidensa tai erillisten hankintayhtiöiden kautta. Puun hankinnan suunnittelu lähtee liikkeelle tehtaitten puuntarpeista. Metsäyhtiöt tekevät hankintaorganisaatioilleen puunhankintatilaukset. Hankintaorganisaatiot tekevät vuosittaiset hankintasuunnitelmat arvioitujen alueellisten hankintamahdollisuuksien ja kuljetuskustannusten perusteella. Puuta myös vaihdetaan toisten hankintaorganisaatioiden kanssa. Puun vaihdon perusteena on joko sopivamman puutavaran saanti tai pienemmät kuljetuskustannukset.

Hankintasuunnitelman laadinnassa käytetään suurimmissa yrityksissä kuljetusoptimointia. Kuljetukset optimoidaan kuljetuskustannusten perusteella. Optimoinnin tuloksena saadaan esitys siitä, mille tehtaalle ja millä kuljetuskajalla puutavarat eri lähtöpaikoilta pitäisi kuljettaa.

Kuljetussuunnitelma jaetaan yleensä 1-4 kuukauden mittaisiin periodeihin tehtaiden käyttösuunnitelmien, aikaisempien vuosien toteutumien ja tavoitteiden perusteella. Ajoituksen perusteella lasketaan mm. varastojen kehittymisen puutavaralajeittain ja tehtaittain. Puutavarakuljetukseen tarvittavien resurssien, mm. kaluston mitoittamisen kannalta on eduksi, jos kuljetukset voidaan jakaa mahdollisimman tasaisesti koko vuoden ajalle.

Tehtaitten operatiivisen, toimeenpanevan suunnittelun lähtökohtana on lyhyen aikavälin kuljetustarpeet. Tavallisesti tehtaitten puunkäyttösuunnitelmat ja kuljetustarpeet tarkistetaan kuukausittain. Kuljetettavat puutavaraerät valitaan hankintapiirien kauppakohtaisista tiedostoista ja osoitetaan puutavara-autojen kuljetusohjelmiin.

### 2.2 Tehtaiden kuljetusalueet

Tehtaiden kuljetusalueella (hankinta-alueella) tarkoitetaan aluetta, jolta tehdas hankkii tarvitsemansa puuraaka-aineen. Alueet muodostuvat tehtaitten puutavaralajeittaisen kysynnän, puun tarjonnan ja kuljetuskustannusten pe-

rusteella. Tehtaitten ympärille muodostuu melko vakioina pysyviä kuljetusalueita. Alueiden väliset ristiinkuljetukset ovat vähäisiä puun vaihdon vuoksi.

Kuljetusalueet "elävät" lähinnä reuna-alueiltaan kysyntä- ja tarjontatilanteen sekä kuljetusmuotojen välisen kilpailutilanteen mukaan. Merkittävimmät muutokset aiheutuvat, kun alueellinen puun kysyntä kasvaa uuden tehtaan vuoksi tai kun puun kysyntä pienenee tehtaan lakkauttamisen vuoksi.

Puun kantohinnalla ei ole ollut merkittävää vaikutusta siihen, mille tehtaalle puu on kuljetettu, sillä puun kantohinnat ovat perustuneet pitäjakohtaisiin hintasuosituksiin. Puukaupan markkinat ovat olleet pitkälti alueellisesti rajatut, minkä vuoksi jaetuilla markkinoilla on ollut usein käytännössä vain yksi ostaja. Kun kantohinnoissa ei ole ollut merkittäviä alueellisia eroja, ovat kuljetusalueet määräytyneet lähes yksinomaan kaukokuljetuksen kustannuksen ja puun tarjonnan perusteella.

Tällä hetkellä markkinoilla vallitsee sopimukseton tila ja yleinen kehitys on kohti vapaampaa kilpailua. Vapaalla kilpailulla ei kuitenkaan liene merkittävää vaikutusta kuljetusten suuntautumiseen, vaan puun käyttöpaikat tulevat edelleen määräytymään pääasiassa puun kysynnän ja kuljetuskustannusten perusteella.

### 2.3 Hakkuumahdollisuudet

Alemman tieverkon kuormitusten kannalta on tärkeää tietää, miten hakkuut ja puun myynti jakautuvat kuljetusalueiden sisällä. Puun myynti on aina metsänomistajan päätös, johon vaikuttavat monet seikat, mm. metsänomistajan taloudellinen tilanne, puun markkinahinta sekä metsänhoidolliset vaatimukset.

Eri metsänomistajaryhmät tekevät myynti tai hakkuupäätöksensä osittain erilaisin kriteerein. Metsänomistajat voidaan jakaa seuraaviin pääryhmiin:

- yksityiset metsänomistajat
- valtio (metsähallitus),
- metsäyhtiöt ja
- kunnat ja seurakunnat.

Valtion, metsäyhtiöiden ja suurten metsätilojen metsiä hakataan yleensä melko hyvin hoitosuosituksia noudattaen. Metsäyhtiöiden omat puuvarat toimivat osittain suhdannetasaajina toisin sanoen, kun puun tarjonta yksityismetsistä on markkinatilanteen vuoksi vähäistä, käyttävät yhtiöt tavallista enemmän omia puuvarojaan.

Parhaiten puun myyntipäätökset on ennustettavissa metsävarojen ja metsänhoitosuositusten eli hakkuumahdollisuuksien perusteella. Suomen metsien kasvu ylittää puun kysynnän, minkä vuoksi alueittaiset kysynnän ja tarjonnan erot voivat olla suuriakin. Eniten hakkuusäästöjä jää Etelä-Suomeen.

### 2.4 Kuljetusten kausivaihtelut

Puun korjuun ja kuljetusten kausivaihtelut ovat suuret. Yleisesti ottaen huippukausi on kevättalvella ja suoritteet ovat alimmillaan keskikesällä. Tavaralajeittaiset kausivaihtelut eivät kuitenkaan ole samanlaisia. Myös yrityskohdaisia eroja esiintyy.



Kausivaihteluissa voidaan erottaa kahden tyyppisiä alueita. Maakuljetusalueilla huippu ajoittuu kevättalveen, jolloin on ajettava talviteiltä tuleva puutavara joko suoraan tehtaille tai välivarastoihin. Kalusto on kesä- ja syyskauden vajaakäytössä. Uittoalueilla autokaluston tarve on kaksihuippuinen. Tarve on korkea tammi-maaliskuussa, jolloin puutavara ajetaan jäävarastoihin sekä kevätkesällä, jolloin puutavara ajetaan veteen.

Kausivaihteluihin vaikuttavia tekijöitä ovat:

- puun korjuumahdollisuudet,
- kevät ja syyskelirikot metsäpään teiden osalta,
- veteen- ja jäälleajomahdollisuudet,
- puutavaran laatuksymykset,
- puun tarjonnasta sekä metsäteollisuuden suhdannevaihteluista johtuvat vaihtelut ja
- laki metsän hyönteis- ja sienituhojen torjunnasta (koskee havupuuta).

Metsän hyönteis- ja sienituhojen torjuntaa koskevassa laissa on säädetty viimeisimmät päivämäärät kesällä, jolloin syksyn ja kevään välisenä aikana kaadettu puutavara on kuljetettu pois hakkuupaikalta tai välivarastosta.

Kuljetuskesonkien jälkeen puuvarastot ovat suuret. Varastot synnyttävät ylimää räisiä korkokustannuksia. Varastojen pienentämiseen onkin kiinnitetään yhä suurempaa huomiota. Tähän pyritään mm. tasaamalla korjuuvaihteluita. Toisaalta ajamalla puuta rautatie- ja uittovarastoihin saavutetaan kuljetuksissa kuljetusvolyymeista aiheutuvia säästöjä.

## 2.5 Kuljetusjärjestelmät

### 2.5.1 Yleistä

Raakapuun tärkeimmät kuljetusmuodot ovat suora tiekuljetus, rautatiekuljetus ja uitto. Rautatiekuljetuksessa ja uittossa on kysymys lähes aina kuljetusketjusta, jossa liityntäkuljetus suoritetaan kuorma-autoilla.

Kuljetusjärjestelmän valintakriteerinä on ennen kaikkea kaukokuljetuksen taloudellisuus, mikä tarkoittaa mahdollisimman pieniä kokonaiskustannuksia metsävarastosta tehtaalte. Kokonaiskustannukset koostuvat puun kuljettamisesta, siirtokuormauksesta ja varastoinnista aiheutuvista kustannuksista.

Tiekuljetuksen ja muiden kuljetusmuotojen välillä ei aina vallitse todellista kilpailutilannetta. Rautatie- ja uittoverkko ovat varsin harvat tieverkkoon nähden, mistä syystä autokuljetus on usein ainoa todellinen vaihtoehto. Kuljetusmuodon valintaan vaikuttavat myös puun laatu tekijät. Kullakin tavaralajilla on tietyt vaatimuksensa erityisesti puun kosteuden suhteen. Uitto säilyttää maakuljetusta paremmin puun kosteuden. Toisaalta puun liian pitkä vedessäoloaika aiheuttaa kuusikuitupuulle värihaittoja.

Tiekuljetuksen yksikkökustannukset ovat varsin suuret rautatiekuljetuksen ja uiton yksikkökustannuksiin nähden. Toisaalta rautatiekuljetukseen ja uittoon sisältyvät liityntäkuljetukset ja siirtokuormaustavaiheet heikentävät kilpailukykyä suoraan tiekuljetukseen nähden. Yleisesti voidaankin sanoa, että suoran

tiekuljetuksen taloudellinen käyttöalue on lyhyillä kuljetusetäisyyksillä ja rautatiekuljetuksen sekä uiton pitkillä etäisyyksillä.

### 2.5.2 Suora tiekuljetus

Suora tiekuljetus on tärkein puutavaran kuljetusmuoto. Vuonna 1990 suorien tiekuljetusten osuus tehtaille saapuneesta puutavarasta oli 72,5 % ja puutavaran kuljetussuoritteesta 54 %. Suorat tiekuljetukset ovat melko lyhyitä. Vuonna 1990 keskimääräinen kuljetusmatka oli 90 km /2/.

Puutavarankuljetuksessa käytettävät kuorma-autot ovat varsin painavia. Vetoautosta ja täysperävaunusta muodostuvan ajoneuvoyhdistelmän suurin sallittu kokonaispaino on 56 tonnia. Maan ollessa jäätynenä voi tiehallitus antaa luvan jopa 60 tonnin kokonaispainolle. Kun ajoneuvoyhdistelmän oma-paino on 19 tonnia, jää kantavuudeksi noin 37 tonnia, mikä merkitsee noin 45 m<sup>3</sup> hyötykuormaa.

Puutavaran autokuljetuksista ovat pääosin aina vastanneet ammattimaiset liikenteenharjoittajat. Kun maassamme on noin 1 400 puutavara-autoa, on niistä metsäteollisuuden omia autoja vain muutama kymmen.

Kuljetusten antajat ja kuljetuksia suorittavat yrittäjät yleensä tekevät kuljetuksista vuosisopimuksen. Siinä sovitaan vuosiansiotavoite ja esitetään arvio sen edellyttämästä kuljetusmäärästä ja niistä olosuhteista, joissa kuljetustyö tehdään.

Vaikka liikenteenharjoittaja kuljettaa puuta työurakasuhteessa, tukeudutaan kuljetusmaksujen määrittämisessä yleensä valtakunnallisesti sovittuihin ohjemaksuihin. Kuljetussopimuksissa määritetään mahdolliset alennukset.

Ohjemaksutaulukoiden mukaiset perusrahdit (mk/tonni) määräytyvät seuraavien tekijöiden mukaan:

- puutavaralaji
- puutavaran pituus
- kuljetusetäisyys
- kuormauspaikkaluokka (3 luokkaa).

Kuljetusmaksuihin sisältyy kuormaus lähikuljetusvarastosta, kuljetus lyhintä tarkoitukseen soveltuvaa tietä pitkin kuorman purkauspaikalle sekä purkaminen siltanosturilla tai trukilla. Ohjetaulukoiden mukaisiin maksuihin tulee tietyt lisät ja korotukset, joiden perusteena ovat puutavaran käsittelytapa, käytettävä kalusto, metsäpään olosuhteet, kuorman koko ja keräily /4/.

Vuonna 1990 puutavaran suoran tiekuljetuksen keskimääräinen yksikkökustannus oli 38,1 p/m<sup>3</sup> km /2/.

### 2.5.3 Rautatiekuljetus

Rautatiekuljetuksen kilpailukyky perustuu yleensä pitkien runkokuljetusten taloudellisuuteen. Rautatiekuljetus voi olla myös lyhyillä etäisyyksillä kannattavaa, mikäli volyymit riittävät kokojunakuljetuksiin ja kuorma-autoilla suoritettavat liityntäkuljetukset ovat lyhyitä. Edellytyksenä rautatiekuljetuksen käytölle on, että tehtaalla on teollisuusraide ja puutavaran purkaus junanvaunuista tehdasvarastoon on järjestetty.



Vuonna 1990 puutavaran rautatiekuljetuksen keskimääräinen pituus oli 234 km ja kuorma-autolla suoritettun liityntäkuljetuksen 32 km. Rautatiekuljetusten osuus tehtaiden vastaanottamasta kotimaisesta raakapuusta oli 13,5 % ja raakapuun kotimaisesta kuljetussuoritteesta 21 % /2/.

Siirtokuormausasemalla puutavara siirretään yleensä välittömästi kuorma-autosta junavaunuun auton kuormaimella. Erillisiä pukki- tai siltanostureita on noin 40 asemalla, kun puutavaran kuormausasemia on noin 200. Kiinteiden siirtolaitteiden käyttö on vähenemässä /1/.

Raakapuun kuljetuksiin käytetään neliakselisia raakapuuvaunuja sekä kaksiakselisia yleisvaunuja. Puutavaraa mahtuu neliakseliseen vaunuun noin 75 m<sup>3</sup> ja kaksiakseliseen vaunuun noin 30 m<sup>3</sup>.

Puutavaran rautatiekuljetusten rahdeista sovitaan yleensä tapauskohtaisesti. Rahtitaulukoiden mukaisia taksoja käytetään sellaisenaan vain poikkeustapauksissa. Perittävä rahti on oleellisesti riippuvainen siitä, hoidetaanko kuljetukset kokojunakuljetuksina vai vaunuryhmäkuljetuksina. Kokojunakuljetuksissa junaa ei tarvitse vaunuryhmäkuljetusten tapaan koota erillistä vaunuista tai vaunuryhmistä, minkä vuoksi kokojunakuljetus on huomattavasti edullisempi kuin vaunuryhmäkuljetus.

Taulukkojen mukaisiin rahteihin vaikuttavat:

- kuljetusmatka
- puutavaralaji ja sen kuivuusaste
- puumäärä/ vaunu ja vaunun täyttöaste.

Vuonna 1990 koko rautatiekuljetusketjun keskimääräinen yksikkökustannus oli 20,6 p/m<sup>3</sup>km. Runkokuljetusten keskimääräinen yksikkökustannus oli 13,8 p/m<sup>3</sup>km ja kuorma-autoilla suoritettavan liityntäkuljetuksen 72,0 p/m<sup>3</sup>km /2/.

## 2.5.4 Uitto

Suomessa on pitkien vesistöreittien ansiosta varsin hyvät mahdollisuudet puutavaran uitolle. Puunjalostuslaitokset on perustettu juuri hyvien uittomahdollisuuksien ja vesivoiman hyödyntämisen vuoksi vesistöjen äärelle.

Uiton kilpailuetuja ovat vähäiset kuljetuskustannukset ja toimiminen luontaisena puskurivarastona puun hankinnan ja käytön välillä. Uiton liityntäkuljetus sekä nippujen sidonta, lautanteko ym. terminaalitoimintojen kustannukset alentavat kuitenkin uiton kilpailukykyä siten, että se on kannattavaa vasta pitkällä kuljetusetäisyyksillä.

Uiton liityntäkuljetus metsästä puun veteenpanopaikalle suoritetaan useimmiten kuorma-autoilla. Rantametsistä puuta ajetaan veteenpanopaikoille myös metsätraktoreilla.

Vuonna 1990 tehtaiden vastaanottamasta kotimaisesta puutavarasta 13,5 % oli uittopuuta. Uiton osuus puutavaran kuljetussuoritteesta oli 22,5 %. Uittokuljetusketjun keskimääräinen kokonaispituus oli 279 km, josta varsinaisen uiton osuus oli 231 km ja liityntäkuljetuksen 40 km /2/.

Puutavaraa saadaan uittaa yleisessä uittoväylässä ja muuallakin avoimessa vesistössä. Pysyvä uittotoiminta vesistössä tai sen osassa on järjestettävä uittosäännöllä, jonka vahvistaa vesioikeus. Uittosäännössä määrätään mm.

siitä, toimitetaanko uitto yhteisuittona, milloin uitto saadaan toimittaa ja mitkä ovat uiton toimintapaikat - pudotuspaikat, suoja- ja järjestelyalueet.

Ennen veteen tai jäälle pudostusta puutavara sidotaan kuorma-autossa. Hinausta varten niput kootaan nippulautoiksi, joissa on 8-16 nippua rinnakkain ja 100-150 nippua peräkkäin. Lautan koko on silloin 15.000-25.000 m<sup>3</sup> /1/.

Yleensä uitto suoritetaan uittajien yhteiseen lukuun. Uiton suorittaa tällöin uittoyhdistys. Uittoyhdistys on itsenäinen kuljetusorganisaatio, jonka jäseninä ovat puutavaran omistajat. Uittoyhdistykset suorittavat hinauksia omalla kalustollaan tai antavat sitä yksityisille hinausurakoitsijoille. Uitto voidaan vesioikeuden luvalla suorittaa myös yksityisuittona.

Vuonna 1990 koko uittokuljetusketjun keskimääräinen yksikkökustannus oli 16,5 p/m<sup>3</sup>km. Yksikkökustannuksessa varsinaisen uiton kustannusvaikutus oli 10,1 p/m<sup>3</sup>km ja kuorma-autolla suoritettun liityntäkuljetuksen 59,7 p/km<sup>3</sup>km. Yksikkökustannuksissa on mukana myös Kemijoen irtouiton kustannukset. Irtouittoa ei todennäköisesti harjoiteta enää vuonna 1992 /2/.

### 3 JÄRJESTELMÄN TIETOTARVE JA TIETOJEN SAATAVUUS

#### 3.1 Yleistä

Järjestelmän vaatimat tärkeimmät tiedot ovat:

- puun kysyntä,
- puun tarjonta,
- kuljetusverkkojen kuvaukset ja
- puun kuljetuskustannusfunktiot.

Seuraavassa tarkastellaan tiedoilta vaadittavaa tarkkuutta, tiedon keruumahdollisuuksia ja eri lähteistä saatavien tietojen hyväksikäytettävyyttä suunniteltavassa järjestelmässä.

#### 3.2 Puun kysyntä

Tarvittavia kysyntätietoja ovat puutavaralajeittaiset käyttöpaikat sekä niiden nykyiset ja tulevat käyttömäärät. Puun käyttöpaikkoina tulee ottaa huomioon kaikki merkittävät teolliset puun käyttöpaikat eli kemiallisen ja mekaanisen puunjalostuksen tehtaat. Piensahojen käyttämä puumäärä on kokonaisuutena varsin vähäinen, mutta niiden käyttämän puun osuus voi olla joidenkin alueiden hakkuista merkittävä. Piensahojen kysyntätietojen huomioon ottaminen voi olla siten myös perusteltua.

Teollisuuden käyttämä puutavara jaetaan seuraaviin tavaralajeihin:

- mäntytukki,
- kuusitukki,
- koivutukki,
- mäntykuitu,
- kuusikuitu ja
- koivukuitu.



Tiedot metsäteollisuuden nykyisestä ja ennustetusta puunkysynnästä on Metsäteholla, joka on Metsäteollisuuden Keskusliiton tutkimus- ja kehitysyksikkö. Metsäteho saa tiedot liiton jäsenyrityksiltä. Tietoja voidaan tarkentaa tarvittaessa suoraan metsäyhtiöiltä.

Tulevaisuuden kysyntätietojen osalta ongelmana on kysyntäpaikkojen (tehtaiden) ja tehdaskohtaisen kysynnän muutokset. Tiedot puun kysynnän tehdaskohtaisesta muuttumisesta tai tehtaan lakkauttamisesta eivät yleensä ole julkisia. Sen sijaan alemman tieverkon kunnossapito- ja kehittämistoiminnassa käytettävän pitkän aikajänteen vuoksi metsäteollisuuden lyhytaikaisilla suhdannevaihteluilla ei ole merkitystä.

### 3.3 Puun tarjonta

Tiedot puutavaran tarjonnasta ovat tarpeen arvioitaessa tehtaiden puunhankinta-alueita, kuljetussuuntia, reittejä ja käytettäviä kuljetusmuotoja. Puun tarjonta on tunnettava vastaavien puutavaralajien osalta kuin kysyntä.

Kotimainen tarjonta on parhaiten arvioitavissa metsien hakkuukelpoisuuden perusteella. Suunniteltavan järjestelmän kannalta tarjontatietojen sijaintitarkkuuden tulee olla hyvä, jotta metsästä pois kuljetettava puutavara voidaan sijoitella luotettavasti.

Myös puun tuonti on otettava huomioon. Ulkomaista puuta ei kuljeteta yleensä alemmalla tieverkolla, minkä vuoksi se voidaan vähentää tehtaiden kysynnästä. Mikäli kuitenkin halutaan tarkastella raakapuun kuljetuksia kokonaisuutena on tuontimäärät rajanylityspaikoittain otettava huomioon.

Puutavaralajeittaiset hakkuumahdollisuudet saadaan puustokartoitusten avulla. Tiedot Suomen metsävaroista ja toteutuneista hakkuista ovat varsin hyvät. Metsävaratiedot perustuvat valtakunnan metsien inventointeihin. Näistä tiedoista saadaan perusteet metsätalouden suunnittelulle, metsäteollisuuden investointipäätöksille ja metsävarojen kestävälle käytölle yleensä.

Meneillään olevassa kahdeksannessa inventoinnissa maastomittausten lisäksi on otettu käyttöön satelliittikuvatieto ja numeerinen karttatieto. Metsävaratiedot johdetaan näistä sekä metsää kuvaavista malleista. Metsävaratiedot saadaan ajan tasalle puuston käyttötilastojen perusteella. Harvennus- ja avohakkuumahdollisuuksia voidaan arvioida esim. 10-20 vuoden jaksoissa puuston kasvumallien avulla. Satelliittikartoituksia tekee metsäntutkimuslaitos yhdessä maanmittaushallituksen ilmakuvatoimiston kanssa /4/.

Maanmittaushallituksessa digitaalinen kartta-aineisto tuotetaan analysoimalla satelliittikuvia ja digitaalisia karttoja tietokoneohjelmistojen avulla. Metsäntutkimuslaitos suorittaa puustoluokituksen. Kartta-aineistossa on maanpinnan jokainen 25 m x 25 m:n ruutu (pikseli) luokiteltu metsien rakennetta ja maankäyttöä kuvaaviin luokkiin /3/.

Puusto on luokiteltu tilavuuden mukaisiin luokkiin puulajeittain ja tavaralajeittain. Puulajeja ovat eriteltävissä kuusi, mänty, koivu ja muut lehtipuut. Tilavuusluokituksen puulajeittainen virhe on suurilla alueilla 1-2 % ja esim. 100 hehtaarin (1 km<sup>2</sup>) alueella alle 10 % /4/.

Satelliittikuvaus uusitaan vajaan kymmenen vuoden välein. Tavoitteena on saada ajantasainen järjestelmä. Tällä hetkellä on inventoitu Etelä-Suomi ja osin Keski-Suomi. Koko maata koskeva inventointi valmistunee vuonna 1995 /4/.

### 3.4 Kuljetusverkot

Kuljetusverkkotietojen avulla kuvataan raakapuun kuljetusmahdollisuudet metsäautotien varresta tehtaalle. Tiedot ovat tarpeen tavaravirtojen sekä käytettävien kuljetusmuotojen ja reittien optimoinnissa. Verkkotietojen tarve koskee tärkeimpiä raakapuukuljetuksissa käytettäviä kuljetusmuotoja toisin sanoen teitä, rautateitä ja uittoväyliä.

Tiestötietojen tulee kattaa koko yleinen tieverkko sekä vähintään yhtenäisiä reittejä muodostavat yksityistiet sekä katu yhteydet tehtaalle. Järjestelmällä tuotettavien tulosten luotettavuuden kannalta myös yksityistiet tiedot ovat tarpeellisia.

Tieverkkotietojen osalta tarvitaan tieosien pituustiedot, solmupisteiden koordinaatit sekä kuljetusrajoitukset toisin sanoen teiden, siltojen ja lossien painorajoitukset, alikulkukorkeudet jne. Vastaavasti rautatie- ja uittoverkon osalta on tunnettava välimatkat, puutavaran siirtokuormaus- ja veteenpanopaikat ja tehtaiden mahdollisuudet käyttää rautatiekuljetusta ja uittoa.

Tieverkkotiedot saadaan yleisten teiden osalta tiehallituksen tierekisteristä. Tieverkon sijaintitietoja tierekisterissä ovat solmupisteiden koordinaatit. Lisäksi tiehallituksen aluerekisteristä saadaan tietoja tien liitännäisalueista (tienpitäjällä alueisiin tieoikeus). Liitännäisalueita ovat mm. puutavaran kuormaukseen ja välivarastointiin tarkoitetut alueet. Tarpeelliset katutiedot (joita ei saada tierekisteristä) saadaan yksinkertaisimmin digitoimalla kartalta.

Yksityisteiden osalta ei toistaiseksi ole saatavilla riittäviä tietoja. Yksityisteiden kunnosta on hyvin vähän kerättyä tietoa. Ainoastaan valtion tukea saavista teistä on joitakin yksittäisiä tietoja. Yksityisteiden sijaintitietojen puutteet koskevat lähinnä niiden kattavuutta, tarkkuutta ja tietojen yhteenliittämistä tierekisterin tietojen kanssa. Tilanne on kuitenkin paranemassa, sillä käynnissä on useita paikkatietoihin liittyviä kehittämisprojekteja.

Maanmittaushallitus on aloittamassa Mikkelin läänissä projektin, jonka tarkoituksena on selvittää, miten digitaalinen tietietokanta on syytä luoda. Projekti valmistunee vuoden 1991 lopulla. Koko maan kattava aineisto, joka sisältää kaikki autoajokelpoiset tiet valmistunee v. 1993-94.

Karttakeskuksella on tarjottavana 1:200 000 mittakaavassa oleva GT -kartta, josta on tehty vuosina 1985-86 tietietokanta, jossa on mukana myös yleisiä teitä yhdistäviä yksityisiä teitä (ns. mustat ja harmaat tiet). Tietokantaa ei ole ylläpidetty. Karttakeskus kehittää GT -karttaan perustuvaa verkkotietokantaa. Tavoitteena on päivittää tieverkko ja korjata GT -kartan sijaintitietojen virheet. Tietokanta valmistunee vuoden 1992 aikana.

Rautatieverkon sijaintitietoja ei ole numeerisessa muodossa, mutta ne on saatavissa kartalta digitoimalla. Puutavaran kuormauspaikkoja ja puun vastaanottopaikkoja (teollisuusraiteet) koskevat tiedot on saatavissa Valtionrauteilta.

Uittoväylistä sekä puun veteenpudotuspaikoista on uittoyhdistysten keräämä kartta-aineisto sekä digitaalinen verkkokuvaus. Uittosäännöstä saadaan lisäksi kaikki pudotuspaikat, jotka on mahdollista ottaa käyttöön. Sallituista puutavaralauttojen ulottuvuuksista sulk- ja avokanavilla on merenkulkuhallituksen vahvistamat päätökset. Vesiväylien ominaisuuksia kuvaavia lisätietoja on mahdollista saada tarpeen vaatiessa merikortista.



Tiedot tehtaitten mahdollisuuksista vastaanottaa rautateitse tai vesitse kuljetettavaa puuta on riippuvainen paitsi ko. verkon läheisyydestä niin myös puun käsittely- ja varastointimahdollisuuksista. Tämän vuoksi rautatie- ja uittokuljetuksen käyttömahdollisuuksille on saatava varmistus metsäyhtiöiltä.

### **3.5 Puutavaran hankinta- ja kuljetuskustannukset**

Puun hankinnan ja erityisesti kuljetusten kustannukset ovat merkittävin tavaravirtojen suuntautumiseen vaikuttava tekijä. Puuta hankitaan sieltä, mistä se on puun laatuvaatimukset huomioon ottaen saatavissa edullisimmin. Hankintapäätöksiin vaikuttavat kustannukset koostuvat kantohinnasta, puun korjuukustannuksista sekä kuljetus- ja varastointikustannuksista.

Kaukokuljetuksen kustannuksiin lasketaan mukaan kaikki puun käsittelystä aiheutuvat kustannukset metsäautotien varresta tehdasvarastoon. Tätä varten kustakin kuljetusmuodosta tarvitaan kuljetuksen sekä kuormauksen, purkauksen ja välikäsitteilyjen yksikkökustannusfunktiot tavaralajeittain.

Puun kantohintojen kehityksen ja erityisesti alueellisten erojen ennustaminen on hankalaa. Tämän vuoksi mahdollisia eroja ei voida myöskään ottaa huomioon. Kantohinnan käyttö järjestelmässä voi tulla kysymykseen lähinnä puuvarastoihin sitoutuvan korkokustannuksen laskentaperusteena.

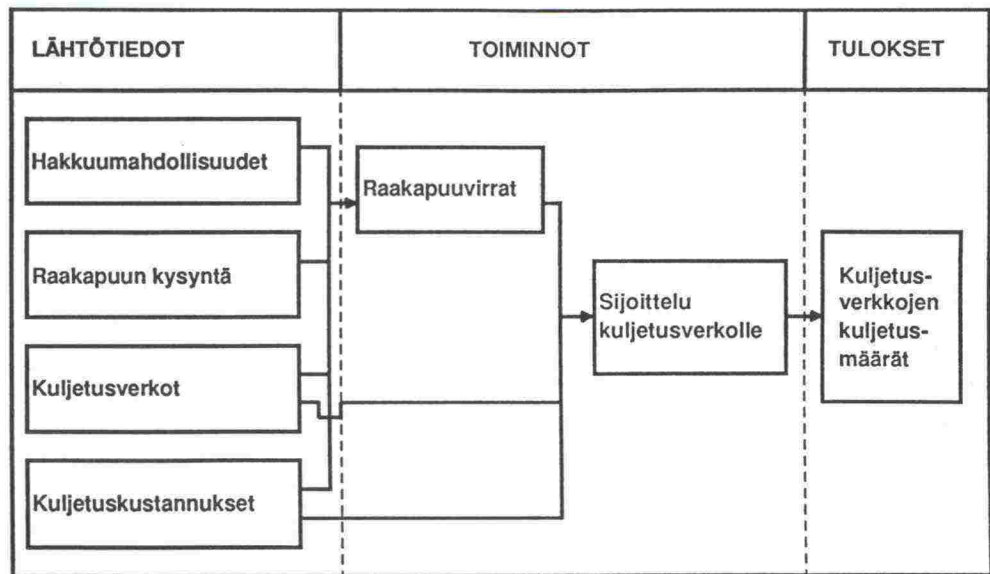
Korjuukustannuksissa aiheutuu eroja mm. maastollisten olosuhteiden vuoksi. Erot eivät järjestelmän kannalta kuitenkaan ole niin merkittäviä, että maastotietojen sisällyttäminen järjestelmään olisi perusteltua.

## 4 KULJETUSMALLI

### 4.1 Mallin rakenne

#### 4.1.1 Yleistä

Suunniteltava kuljetusmalli laskee puutavaran kuljetusvirrat ja sijoittelee ne kuljetusverkoille. Lähtötietoina malli käyttää hakkuumahdollisuustietoja, raakapuun kysyntätietoja, kuljetusverkkokuvauksia ja kuljetusmuodottaisia kustannustietoja (kuva 1).



Kuva 1: Kuljetusmallin lähtötiedot, toiminnot ja tulokset.

#### 4.1.2 Tavaravirrat

Satelliittikuvaukseen perustuvasta puustokartoituksesta generoidaan tarkasteluajanjakson (10-20 vuotta) tavaralajeittaiset tuotokset alueittain. Alueet ovat karttaruutuja, joiden koko on 1-4 km<sup>2</sup>, toisin sanoen ruudun sivun pituus on 1-2 km. Ruudun koon lopullinen valinta tehdään käytettävien tiestötietojen perusteella. Yksityistieverkkotietojen käyttö edellyttää tarkempaa aluejakoa kuin pelkän yleisen tieverkon käyttö.

Kunkin ruudun tavaralajeittaisille tuotoksille määrätään kysyntäpisteet ja kuljetusmuodot (muodostetaan tavaravirtamatriisit). Kysyntäpisteet valitaan kuljetuskustannusten ja puutavaran tehdaskohtaisen kysynnän perusteella. Valitun kysyntäpisteen ja kuljetusmuodon perusteella tuotokset kiinnitetään tieverkkoon.

Kuljetuskustannusten laskentaverkko käsittää kaikki kuvatut tiet (yleiset ja yksityiset) sekä rautatiet ja uittoväylät. Myös metsäkoneilla suoritettavan alkukuljetuksen kustannukset (matkan pituus ja maasto-olosuhteet) otetaan karkeasti huomioon (metsäkuljetus maksaa noin viisinkertaisesti tiekuljetukseen nähden).

Kaukokuljetuksen kustannukset lasketaan kuljetusmuotokohtaisten kustannusfunktioiden avulla. Funktiot sisältävät terminaalikustannukset ja varsinaisen kuljetuksen.

Tiekuljetusten kustannukset lasketaan pääsääntöisesti täysperävaunullisen ajoneuvoyhdistelmän kustannusfunktioita käyttäen. Poikkeuksellisesti kanta-vuodeltaan heikoilla tieosuuksilla käytetään perävaunuttoman kuorma-auton funktioita (käsitellään omana kuljetusmuotonaan).

Rautatiekuljetuksissa käytetään sekä vaunuryhmä- että kokojunakuljetuksen kustannusfunktioita. Kustannusfunktion ja liikennöintitavan valinta tehdään tavaravirtojen suuruuden perusteella. Kokojunakuljetuksen käyttö on mahdollinen vain silloin, kun vuotuiset tavaravirrat ovat erittäin suuria. Muutoin ainoastaan vaunuryhmäkuljetus on mahdollinen.

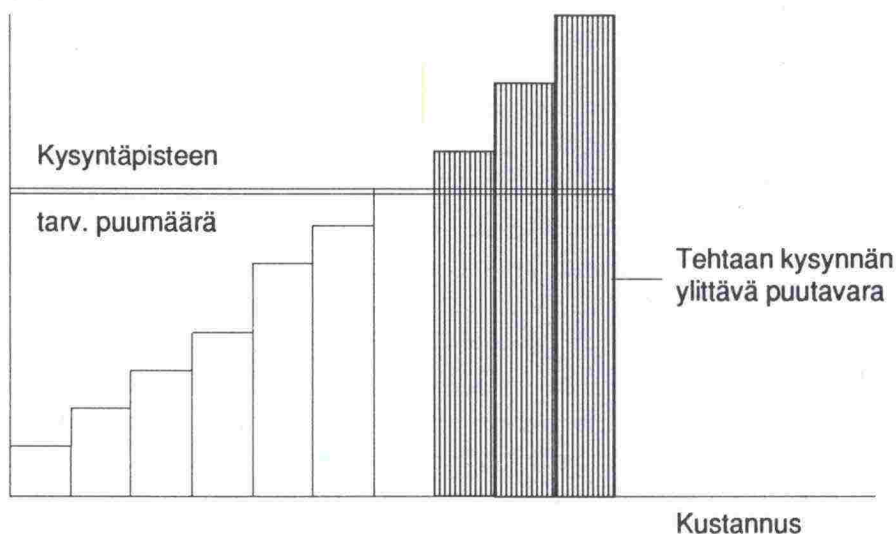
Kaikkea tarjolla olevaa puutavaraa ei tehtaiden (kysyntäpisteiden) rajallisen kysynnän vuoksi voida kuljettaa kuljetuskustannuksiltaan edullisimmalle tehtaalle. Tällainen puutavaran ylitarjonta tulee suunnata muille tehtaalle siten, että kaikkien tehtaiden kysyntä tulee tyydytetyksi.

Tavaravirtamatriisien laskentamenetelmä on iteratiivinen. Iteraatiokierroksittain kerätään tietoa kysyntäpisteiden kuljetuskustannusjakaumasta. Kustannukset jaetaan luokkiin ja luokkaa vastaava tavaramäärä tallennetaan.

Kysyntäpisteessä käytetään se puutavara, jonka kuljetuskustannukset ovat pienimmät. Loppuosalle puutavaraa (tehtaan ylitarjonta) etsitään seuraavalla kierroksella uusi kysyntäpiste, johon se kiinnitetään, jos kysyntäpisteen tarvitseman puutavaran kuljetuskustannukset pienenevät edelliseen iteraatiokierrokseen nähden. Tuloksena saadaan tehtaiden kuljetuskustannusten perusteella optimoidut kuljetusalueet (kuva 2).

Kuljetukset voidaan optimoida myös tehdasryhmittäin, esim. yhtiöittäin. Ryhmäkohtaisessa optimoinnissa joidenkin tehtaiden kuljetuskustannukset voivat muodostua suuremmiksi ja toisten vastaavasti pienemmiksi kuin tehdaskohtaisessa optimoinnissa. Tehdasryhmittäinen optimointi on vaikeammin toteutettavissa kuin tehdaskohtainen optimointi.

Tarjonta



Kuva 2: Kuljetuskustannusjakauman käyttö kysyntäpisteeseen kiinnitettävän tarjonnan määrittämisessä.

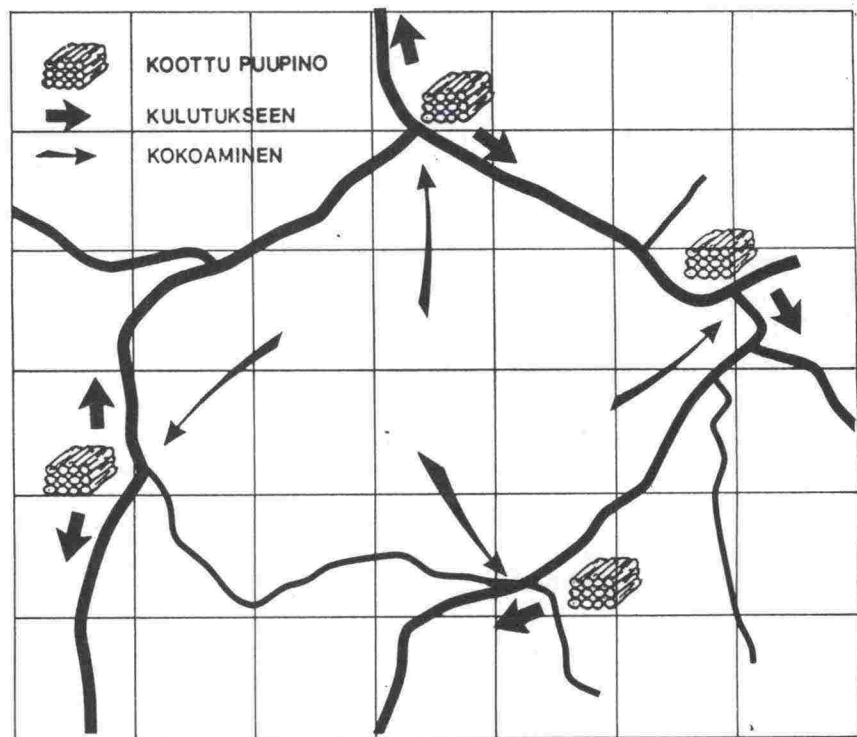


### 4.1.3 Sijoittelu

Tiekuljetusten sijoitteluverkko sisältää yleiset tiet ja kadut sekä mahdollisesti myös yleisiä teitä yhdistäviä yksityisiä teitä. Tavaravirrat syötetään sijoitteluverkolle sen solmupisteissä. Syöttöpisteet määräytyvät valitun kysyntäpisteen ja kuljetusmuodon (kuljetussuunnan) sekä tavaravirtojen laskennassa käytettävän tieverkon (laskentaverkko) tarkkuuden perusteella.

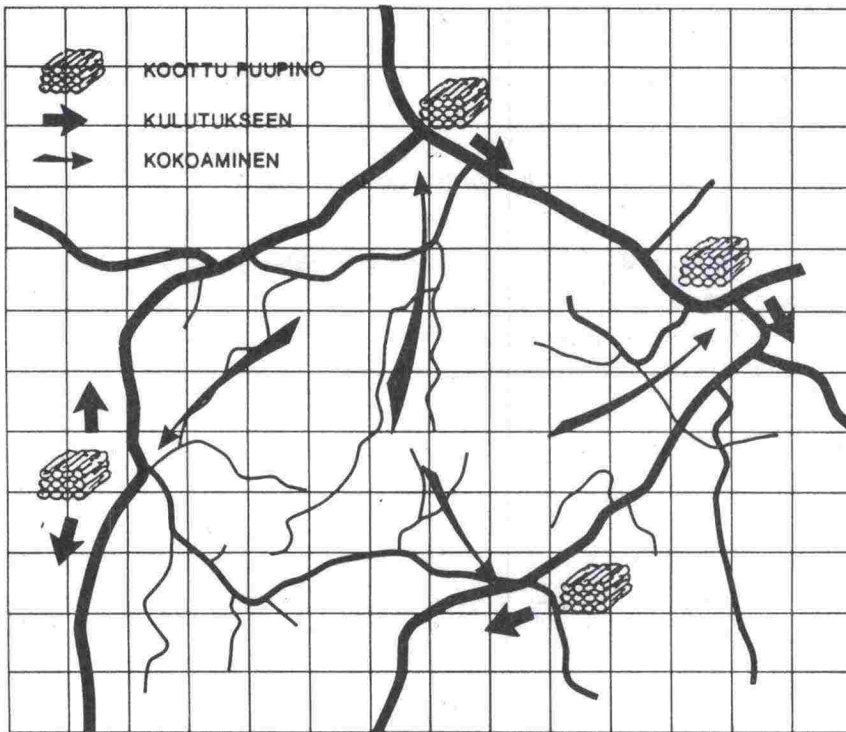
Kun laskentaverkko koostuu sekä yleisistä että yksityisistä teistä, voidaan tavaravirtojen syöttöpisteet määrittää luotettavammin verrattuna siihen, että laskentaverkko koostuisi pelkästään yleisistä teistä. Kun laskentaverkko on harva ei hakkuumahdollisuuksienkaan kuvauksessa kannata käyttää liiallista aluetarkkuutta (kuvat 3 ja 4).

Puutavaravirrat sijoitellaan tieverkolle kuljetuskustannusten perusteella. Mikäli käytettävä ohjelmisto ei mahdollista kaikkien kuljetusmuotojen yhtäaikaista sijoittelua, on sijoittelu tehtävä jakamalla kuljetusketjut kuljetusmuodottaisiin osiin. Tiekuljetusten kysyntäpisteitä ovat tällöin tehtaat (suora tiekuljetus), veteenpudotuspaikat (uitto) ja siirtokuormausasemat (rautatiekuljetus). Sijoitteluperiaatteet muiden kuljetusmuotojen osalta ovat vastaavanlaiset.



Kuva 3: Tavaravirtojen syöttöpisteiden määrittäminen (puupinojen kokoaminen sijoitteluverkon solmupisteisiin), kun tavaravirtojen laskentaverkko sisältää vain yleiset tiet (ja mahdollisesti näitä yhdistäviä yksityisiä teitä).





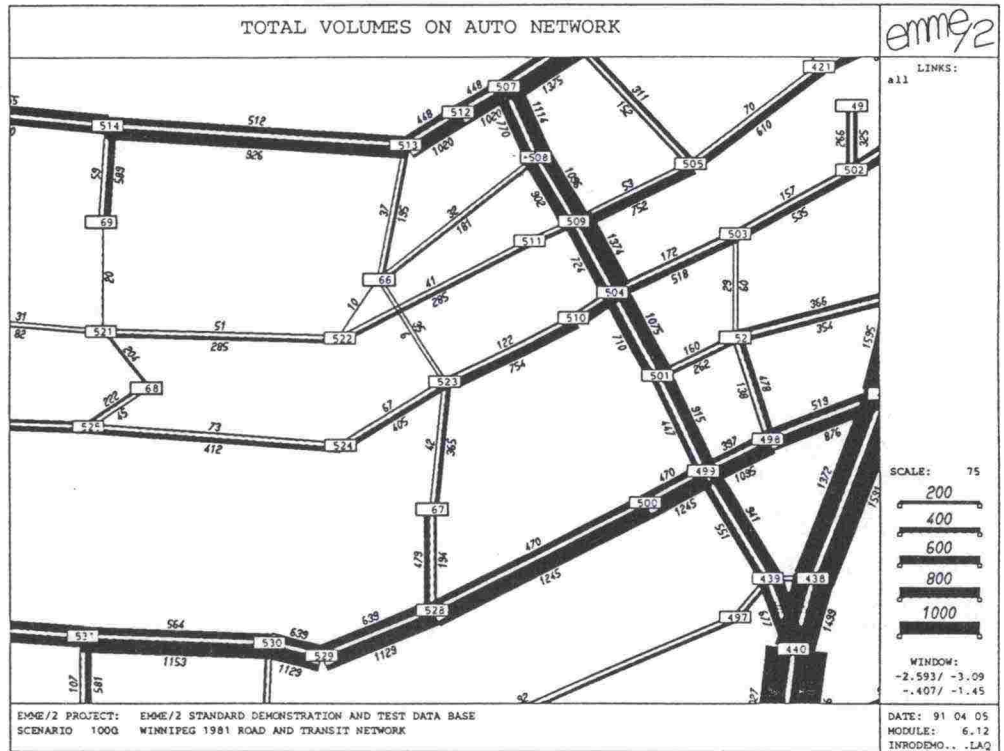
Kuva 4: Tavaravirtojen syöttöpisteiden määrittäminen (puupinojen kokoaminen sijoitteluverkon solmupisteisiin), kun tavaravirtojen laskentaverkko sisältää yleiset ja yksityiset tiet.

## 4.2 Tulokset

### 4.2.1 Kuljetusverkkojen kuormitukset

Sijoittelun tuloksena saadaan tieosittaiset kuljetusmäärät (tonnit ja ajoneuvomäärät). Esitettävät arvot kuvaavat tarkasteluajanjakson keskimääräisen vuoden tilannetta. Sijoitteluohjelmistot mahdollistavat tulosten esittämisen havainnollisina verkkokuvina (kuva 5).

Muiden kuljetusverkkojen (rautatiet ja uittoväylät) kuormitukset voidaan esittää samalla tavalla kuin tieverkon kuormitukset.



Kuva 5: Sijoitteluohjelmiston tuottama tieverkon kuormituskuva.

#### 4.2.2 Muut tulokset

Järjestelmällä voidaan tuottaa kuormitustietojen ja tavaravirtamatriisien ohella lukuisia muita tuloksia, joita liikenneviranomaiset voivat hyödyntää kuljetusverkko-suunnittelussa ja metsäyhtiöt puun hankinnan ja kuljetusten suunnitteluun.

Esimerkkejä järjestelmällä tuotettavista tuloksista ovat:

- raakapuun kuljetuskustannukset kuljetusverkoittain,
- tavaravirtamatriisit kuntatarkkuudella,
- kuljetusmuotojakaumat,
- optimaaliset hankinta-alueet tehtaittain,
- tehtaiden kaukokuljetusten kustannukset ja
- siirtokuormausasemien kautta kulkevat tavaramäärät.

## 5 TOTEUTUS

### 5.1 Käyttökohteet

Järjestelmällä voidaan ennustaa potentiaaliset puutavarankuljetukset kaikilla liikenneverkoilla 10-20 vuoden aikajänteellä. Järjestelmällä voidaan arvioida uusien kysyntäpisteiden perustamisen, vanhojen lakkauttamisen ja kysyntä-vaihteluiden aiheuttamia muutoksia tavaravirroissa, kuljetuskustannuksissa ja tieverkon kuormittumisessa. Edelleen voidaan arvioida huonojen kuljetusyh-teyksien poistamisen vaikutuksia kuljetuspotentiaalien purkautumiseen.

Potentiaalisten virtojen tunteminen helpottaa tieverkon puutteiden löytämistä ja parantaa puutteiden poistamiseksi suunniteltavien investointien kannatta-vuustarkastelujen luotettavuutta. Järjestelmä tarjoaa mahdollisuudet myös eri kuljetusmuotojen yhteistyöllä saavutettavien logististen hyötyjen etsimiseen.

Käsiteltävän tiedon määrä on varsin suuri, minkä vuoksi järjestelmällä voidaan tarkastella enintään yhden tiepiirin tieverkkoa kerrallaan. Tiepiirien välisten puukuljetusten vuoksi tarkastelun pohjaksi on kuitenkin valittava niin laaja alue, että se kattaa myös naapuripiirien tehtaiden hankinta-alueita.

### 5.2 Hyödyt

Järjestelmän avulla voidaan pienentää raakapuun kuljetuksista yhteiskunnalle aiheutuvia kustannuksia. Sitä voidaan käyttää minkä tahansa kuljetusverkon tai sen osan, esim. metsäautotieverkon tarkasteluun. Järjestelmän avulla saadaan nopeasti ja luotettavasti arvioitua raakapuun kuljetusmahdollisuuksia parantavien kuljetusväylä- ja terminaalihankkeiden kannattavuudet ja vertailla vaihtoehtoisten toimenpiteiden keskinäistä edullisuutta. Näin voidaan käytettä-vissä olevilla resursseilla saavuttaa mahdollisimmat suuret hyödyt. Nykytilan-teeseen nähden suunnittelun kustannukset pienenevät ja laskelmien luotetta-vuus paranee oleellisesti.

Suurimmat säästöt saavutetaan kuitenkin metsäteollisuuden kuljetuskustan-nuksissa. Mahdollisten säästöjen summaa on vaikea arvioida. Potentiaaliset säästömahdollisuudet ovat kuitenkin melkoiset, sillä ovathan metsäteollisuu-den raakapuun kuljetuskustannukset 1 600 miljoonaa markkaa vuodessa. Kuljetuskustannussäästöillä on myös monia kerrannaisvaikutuksia. Kustannus-ten alentuminen parantaisi Suomen metsäteollisuuden kilpailukykyä ja lisäksi vientituotteiden kysyntää. Tuotannon ja voittojen kasvaessa työllisyys ja yleinen hyvinvointi paranevat.

Metsäteollisuuden mahdollisuudet hyödyntää järjestelmän sisältämiä hakkuu-mahdollisuus- ja kuljetusverkkotietoja ovat erittäin laajat. Järjestelmää voidaan hyödyntää tehtaan optimaalisimman sijaintipaikan arvioinnissa ja tehtaiden puun hankinnan ja kuljetusten suunnittelussa. Puun hankinnassa löydetään edullisimmat kuljetusalueet ja kuljetusmuodot. Numeerisen tieverkkokuvauksen ansiosta puupinot voidaan sijoittaa kartalle, jolloin voidaan tarkastella puuva-rastojen määriä ja suunnitella kuljetusreitit ja paikantaa pinot maastossa. Maastossa paikantamiseen voidaan käyttää joko etäisyystietoa tai satel-liittipaikantamista.



### 5.3 Epävarmuustekijät

Järjestelmällä tuotettavien tulosten luotettavuuteen vaikuttavat tärkeimmät epävarmuustekijät ovat:

- Puun hakkuiden alueelliseen toteutumiseen liittyvä epävarmuus. Toteutuvat puunhakkuut poikkeavat hakkuumahdollisuuksista erityisesti Etelä-Suomessa, jossa metsiin jää hakkuusäästöjä.
- Kuljetusmuotojen valintaan vaikuttavien tekijöiden vaikea arvioitavuus tietyillä alueilla. Käytettävän kuljetusmuodon valinta saattaa perustua johonkin muuhun tekijään kuin pelkkään kuljetuskustannukseen.
- Puunjalostusteollisuuden suhdannevaihtelut aiheuttavat vaihtelua myös kuljetuksiin. Kuitenkin pitkällä (20 vuotta) aikavälillä tuotantovaihtelut tasoittuvat.
- Puutavaran kysyntäpisteissä ja kysynnässä tapahtuvien muutosten vaikea ennustettavuus. Uusi kysyntäpiste voi muuttaa merkittävästikin puunhankinta-alueita ja kuljetussuuntia.

Epävarmuustekijöiden yhteisvaikutusta arvioitaessa, voidaan todeta, ettei järjestelmällä tuotettavien liikenne-ennusteiden tarkkuus poikkea oleellisesti muiden liikenne-ennustemenetelmien tarkkuustasosta.

### 5.4 Atk-järjestelmä

Järjestelmä perustuu valmiiden lähtötietojen lukemiseen tietokannoista. Tietojen hallintaan käytetään relaatiomalliin perustuvaa ohjelmistoa.

Laskentaa ja tiedon käsittelyä varten on olemassa tehokkaita algoritmeja. Algoritmit pohjautuvat perinteiseen ohjelmointiin jollakin yleisellä ohjelmointikielellä.

Liikenteen sijoitteluohjelmistoina tulevat ensisijaisesti kyseeseen Emme/2 ja Stan. Emme/2 on ns. yleinen sijoitteluohjelmisto. Käytettäessä Emme/2 -ohjelmistoa, tulee useita kuljetusmuotoja sisältävä tavaravirta jakaa kuljetusmuodottaisiin osiin. Kutakin kuljetusmuotoa koskeva tavaravirran osa sijoitellaan erikseen. Stan ohjelmistossa sijoitellaan tavaralajeittaiset matriisit kerralla. Käytettävä kuljetusmuoto määräytyy sijoittelun yhteydessä kuljetuskustannusten perusteella.

Mikäli ohjelmiston käyttötavaksi valitaan keskitetty käyttö tiehallituksessa, voidaan ohjelmisto toteuttaa tiehallituksen Unix-keskuskoneelle. Mikäli käyttö hajautetaan tiepiireihin, tulee kussakin piirissä olla tehtävään koulutettu ohjelmiston pääkäyttäjä. Järjestelmä toteutettaisiin tällöin mikrotietokonepohjaisena ja sijoitteluohjelmiston dimensiot valitaan laitteiston mukaan.

Ohjelmistoa toteutettaessa on otettava huomioon liitännäismahdollisuudet tietoliikenteen muiden järjestelmien kanssa. Ulkoisina liittyjinä järjestelmään voisivat olla maanmittaushallituksen tiestötiedot ja puunjalostusteollisuuden omat tiedostot ja järjestelmät.

## 6 LÄHDELUETTELO

- /1/ Korpilahti, A. Puun kaukokuljetus. Helsinki 1991. Metsäkeskus Tapio, Tapion taskukirja 21. uudistettu painos, s. 425-437.
- /2/ Laajalahti, T. & Pennanen, O. Metsäteollisuuden raakapuun korjuun ja kaukokuljetuksen puumäärät ja kustannukset vuonna 1990. 15.4.1991. Metsäteho. 3s.
- /3/ Nuora, A. Maankäyttö- ja puustokartoitus koko maasta. Kunnallistekniikka 2:1991, s.18.
- /4/ Puutavaran autokuljetusmaksut, sopimuskausi 1.1.-31.12.1991. Metsäalan Kuljetuksenantajat ja Suomen Kuorma-autoliitto ry.
- /5/ Tomppo, E. Metsäntutkimuslaitos. Suullinen tiedonanto 23.5.1991.

## TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 24/1991 Teiden kantavuusvaihtelut 1987-89. TIEL 3200023
- 25/1991 Tierakenteen kantavuusvaihtelu ja laskennalliset kantavuudet. TIEL 3200024
- 26/1991 Joukkoliikenne; Kirjallisuusselvitys ja -referaatit. TIEL 3200025
- 27/1991 Kauhavan taajamatien saneerauksen vaikutukset. TIEL 3200026
- 28/1991 Kuormausjärjestelyt teiden kunnossapidossa. TIEL 3200027
- 29/1991 Collisions with Road Structures and Appurtenances. TIEL 3200028E
- 30/1991 Tien hoitoajoneuvojen vahinkotutkimus. TIEL 3200029
- 31/1991 Polttoaineen hinnannousun vaikutus autonkäyttöön. TIEL 3200030
- 32/1991 Liikenneonnettomuuksien aikasarjaennuste vuodelle 1991. TIEL 3200031
- 33/1991 Hirvieläinonnettomuudet yleisillä teillä 1990. TIEL 3201921-91
- 34/1991 Hankasalmen ja Kauhavan taajamakuvatarkastelu. TIEL 3200032
- 35/1991 Tietullit ja kiinteät tienkäyttömaksut, optimaalinen maksujärjestelmä tieliikennesektorille. TIEL 3200033
- 36/1991 Kansalaisten osallistuminen tiensuunnitteluun; Muurla-Lohjanharju vaihtoehtoselvityksen arviointi. TIEL 3200034
- 37/1991 Rautatien tasoristeysonnettomuudet yleisillä teillä 1990. TIEL 3201870-91
- 38/1991 Palvelutasomittareiden vertailumittaukset 1991. TIEL 3200008-91
- 39/1991 Mittausautomaation hyödyntäminen maarakennuskoneiden ohjauksessa. TIEL 3200035
- 40/1991 Ramppiohjausselvitys. TIEL 3200036
- 41/1991 Ramps Metering Review. TIEL 3200037E
- 42/1991 Kuorma-autojen vaikutuksesta muuhun liikenteeseen. TIEL 3200038
- 43/1991 Maksuhalukkuusmenettelyn soveltuvuus tieliikenteen vaikutusten arviointiin. TIEL 3200039
- 44/1991 Nauvo-Parainen kiinteä tieyhteys: hyvinvointivaikutusten arviointi. TIEL 3200040
- 45/1991 Levähdysalueet ja levähdysalueiden kalusteet. TIEL 3200041
- 46/1991 Tiehöylän karheenlevittimien vertailu. TIEL 3200042
- 47/1991 Lautassirottimien vertailu. TIEL 3200043
- 48/1991 Liuoslevittimien käyttökokeilu. TIEL 3200044
- 50/1991 Lumitilat yleisillä teillä, perusselvitys